

Состав полученных в экспериментах продуктов конверсии представлены в таблице. Выделение сажи в реторте не обнаружено.

Таблица

Экспериментальные концентрации компонентов на выходе из реактора

Компоненты смеси	CH ₄	H ₂ O	H ₂	CO	CO ₂	N ₂
Концентрации, %	0,32	0,23	39,18	20,6	0,17	39,5

Заключение. Разработан и экспериментально проверен рациональный способ равномерного ввода продуктов неполного горения метановоздушной смеси в кольцевую реторту реактора с катализатором через перфорационные отверстия в нижней части внутренней реторты. Неравномерность температуры по высоте катализатора уменьшается, а уровень минимальной температуры повышается с 790 °С до 930 °С, что позволяет устранить проникновение углерода в поры катализатора при соотношении $\text{CH}_4/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}) \approx 1$ и увеличить срок использования катализатора. Состав продуктов конверсии метана на выходе соответствует требованиям, предъявляемым к технологическим атмосферам.

Список использованных источников

1. Зельдович Я.Б. К теории реакции на пористом или порошкообразном материале // Журнал физической химии. 1939. Т. XIII. Вып. 2. С. 163-168.
2. Karakaya C., Kee R.J. Progress in the direct catalytic conversion of methane to fuels and chemicals // Progress in Energy and Combustion Science, 55 (2016), pp. 60-97.
3. Estephane J., Aouad S., Hany S., Khoury B.El., Gennequin C., Zakhem H.El., Nakat J.El., Aboukais A., Aad E.A. CO₂ reforming of methane over Ni-Co/ZSM5 catalysts. Aging and carbon deposition study // International Journal of Hydrogen Energy, 40 (2015), pp. 9201-9208.

УДК 004.94

П. А. Сеченов, В. П. Цымбал

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОЛОННОГО СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОГО РЕАКТОРА

Аннотация

В статье рассмотрено исследование на имитационной модели внутреннего механизма диссипативной структуры – гравитационный сепаратор в струйно-эмульсионном реакторе. Разработанные ранее математические модели, знания и опыт, полученные на крупномасштабной опытной установке Запсибметкомбината, позволили разработать

имитационную модель гравитационного сепаратора с использованием метода Монте-Карло и «первых принципов». В результате работы имитационной модели получены фазовые траектории исследуемых величин: содержания углерода в копильнике и железа в шлаке в зависимости: а) от количества частиц углерода; б) от крупности железной руды. Также проанализированы скорости попадания железа и углерода в копильник по двум механизмам: 1) в падающих частицах; 2) диффузия через границу шлак-металл. Сделан вывод о том, что наименьшее количество углерода в готовом продукте получается при подаче железной руды радиусом 0,5 мм.

Ключевые слова: фазовая траектория, имитационная модель, струйно-эмульсионный реактор, аттрактор.

Abstract

The article describes a study on a simulation model of the internal mechanism of a dissipative structure – a gravity separator in a jet-emulsion reactor. Previously developed mathematical models, knowledge and experience obtained on a large-scale experimental installation of the Zapsibmetcombinat allowed developing a simulation model of a gravity separator using the Monte Carlo method and the «first principles». As a result of the simulation model, the phase trajectories of the studied quantities were obtained: the carbon content in the digger and iron in the slag, depending on a) on the number of carbon particles; b) on the size of iron ore. The rates of entry of iron and carbon into the accumulator were also analyzed according to two schemes: 1) in falling particles; 2) slag-metal diffusion across the boundary. It was concluded that the smallest amount of carbon in the finished product is obtained by feeding iron ore with a radius of 0.5 mm.

Key words: phase trajectory, simulation model, jet-emulsion reactor, attractor.

В статье рассматриваются исследования на имитационной модели колонного струйно-эмульсионного ректора, которая была идентифицирована по результатам экспериментов на крупномасштабной опытной установки на Запсибметкомбинате [1].

Ранее была рассмотрена зонная модель струйно-эмульсионного реактора [2]. Ниже мы остановимся на одной из важнейших диссипативных структур – гравитационном сепараторе, который образуется в вертикальном колонном реакторе при определенных режимах течения двухфазного потока рабочей смеси, подготовленной в реакторе-осцилляторе.

При создании и математическом описании этой диссипативной структуры, предназначенной для разделения металла, шлака и газа, удалось реализовать имитационную модель, основанную на использовании метода Монте-Карло [3, 4] и «первых принципов». В данном случае в качестве первого (базового) уровня рассматриваются дисперсные частицы шихты и продуктов реакций, а также все возможные варианты их превращений и взаимодействий.

При разработке представленной модели пришлось решать сложную задачу: имитация состояния частиц шихты и их ансамблей не только в пространстве, но и во времени, при непрерывно изменяющемся физическом и химическом составе, а также учет возможности изменения внутреннего состояния частицы (продукта реакции) после каждого акта встречи. В связи с этим, несмотря на то, что имеется достаточно большое число алгоритмов и даже языков программирования таких задач [4], пришлось разработать специализированный алгоритм и программу.

На основании разработанной имитационной модели получены фазовые диаграммы (аттракторы) диссипативной структуры – колонного струйно-эмульсионного реактора.

Наиболее важным параметром при получении готового продукта – металла является содержание углерода.

На рисунке 1 представлен фазовый портрет содержания углерода в копильнике – металла в шлаке в зависимости от поданного количества частиц углерода. Направления стрелок показывают движения процесса, точки сделаны с интервалом в 100 секунд. Хорошо различимы первые три шага, после чего происходит стягивание аттрактора с незначительными колебаниями.

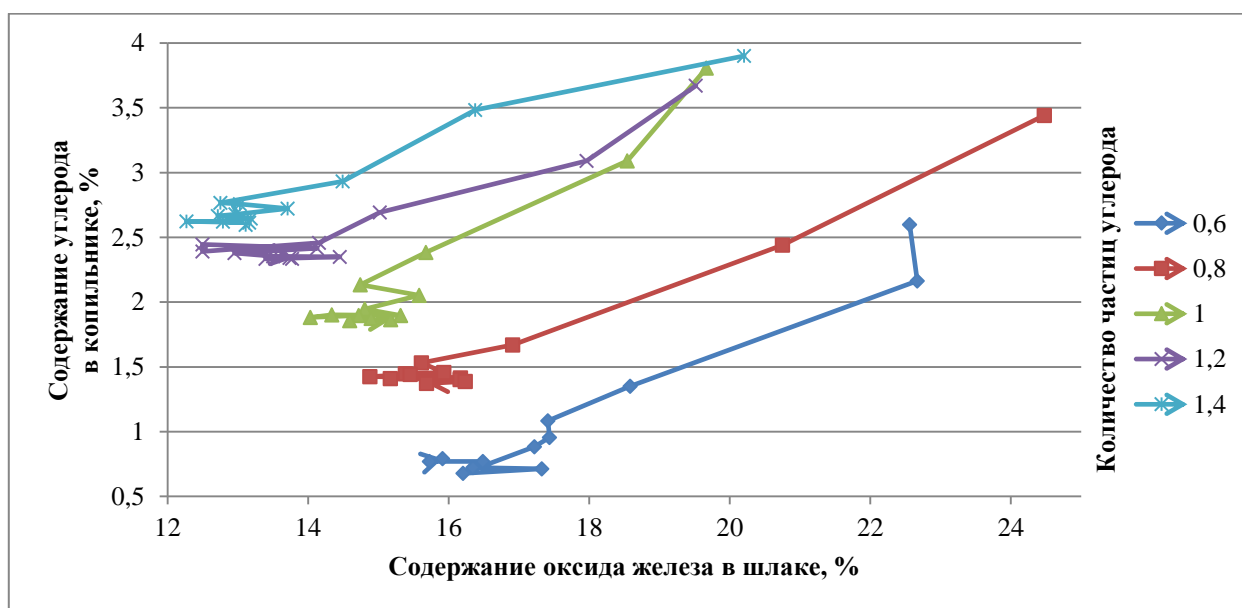


Рис. 1. Фазовая диаграмма содержание углерода в копильнике – железа в шлаке в зависимости от количества подаваемых частиц углерода

На рисунке 2 представлен аналогичный фазовый портрет, но уже в зависимости от радиуса частиц железной руды. В данном случае аттрактор стягивается после 5 шага по времени, т.е. после 500 секунд работы.

Оба рисунка демонстрируют сходимость разработанной имитационной модели с течением времени.

Следует отметить, что содержание углерода в копильнике в соответствии с разработанным алгоритмом формируется по двум механизмам: 1) частицы железа падают из гравитационного сепаратора в копильник через шлак; 2) диффузионный переход на границе шлак-металл за счет градиента кислорода между шлаком и металлом. Так как имитационное моделирование осуществляется на уровне частиц, то можно проследить оба этих механизма по отдельности (рис. 3).

Из рисунка 3 видно, что железо и углерод в частицах коррелированы между собой, также как железо и углерод на границе шлак-металл.

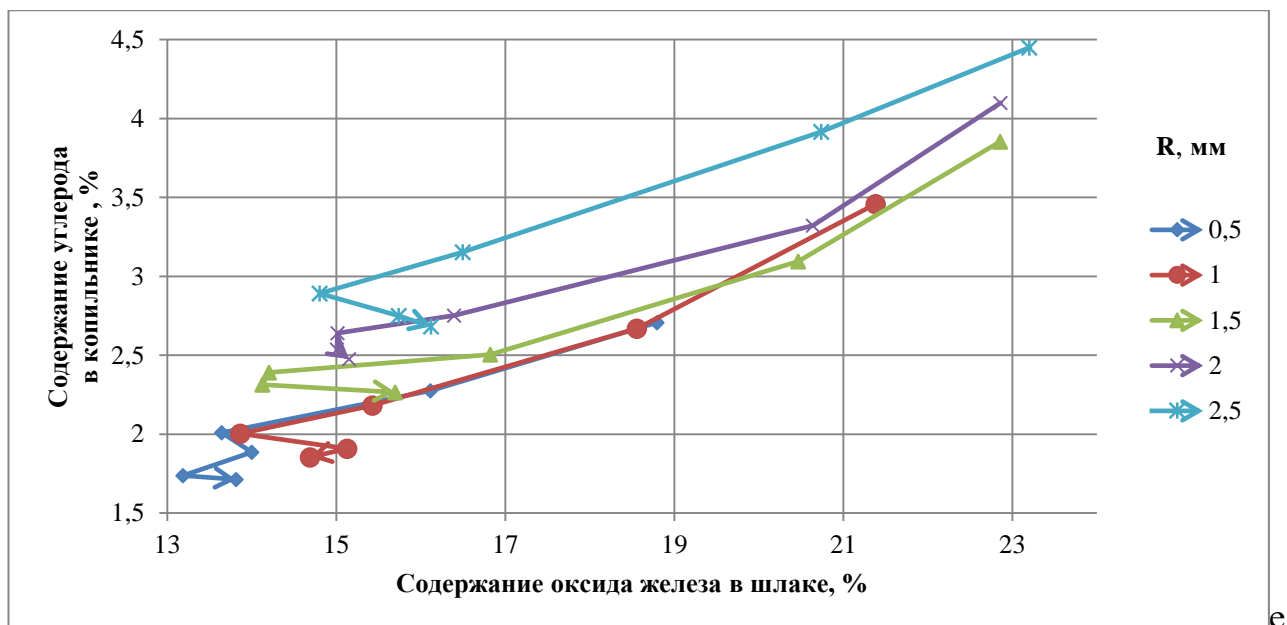


Рис. 2. Фазовая диаграмма содержания углерода в копильнике – железа в шлаке в зависимости от крупности руды

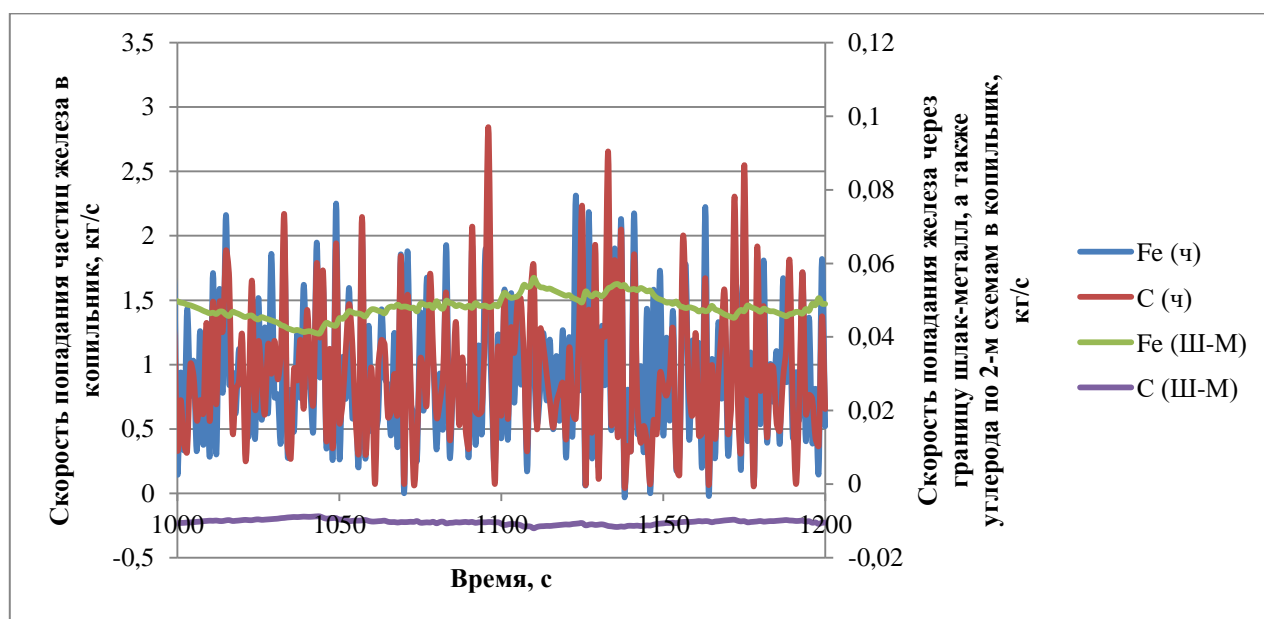


Рис. 3. Скорости попадания железа и углерода в копильник:
1) находящихся в частицах, 2) за счет диффузионного перехода на границе шлак-металл

На рисунке 4 показан фазовый портрет прихода железа и углерода в частицах (рис. 4).

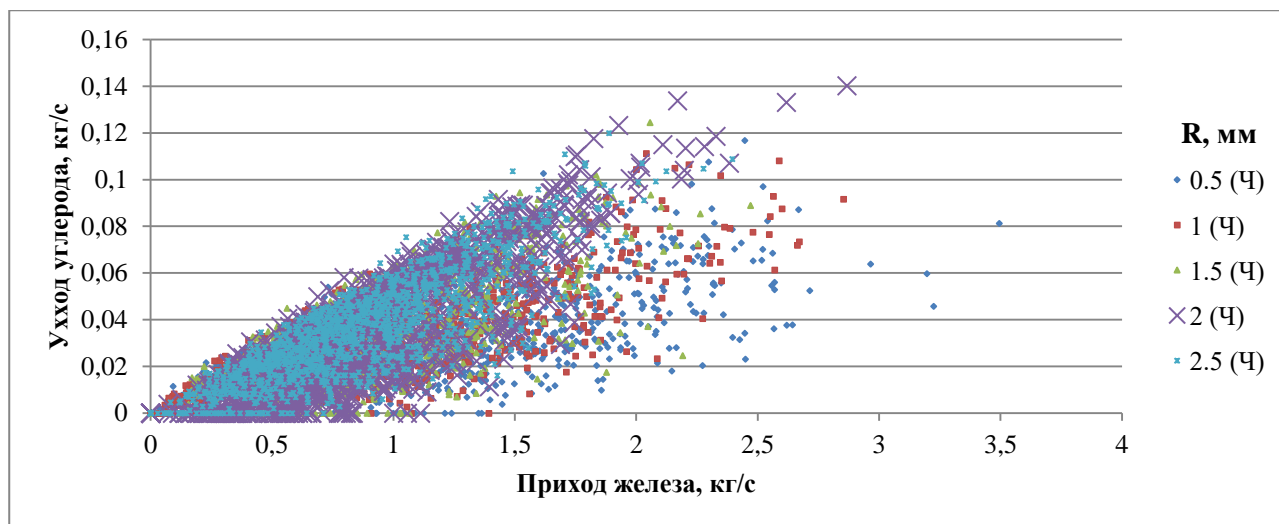


Рис. 4. Фазовый портрет прихода железа и углерода с частицами при различной крупности частиц железной руды

На основании усредненных данных рисунка 4 была получена закономерность: есть прямая зависимость между крупностью руды и поступлением углерода в копильник.

Отношение массы углерода к массе железа показывает зависимость образования частиц углерода и железа через границу шлак-металл $m(C) / m(Fe) = 12 / 56$. Она выражена прямой линией, а все значения приходов железа и углерода в частицах располагаются на ней (рис. 5).

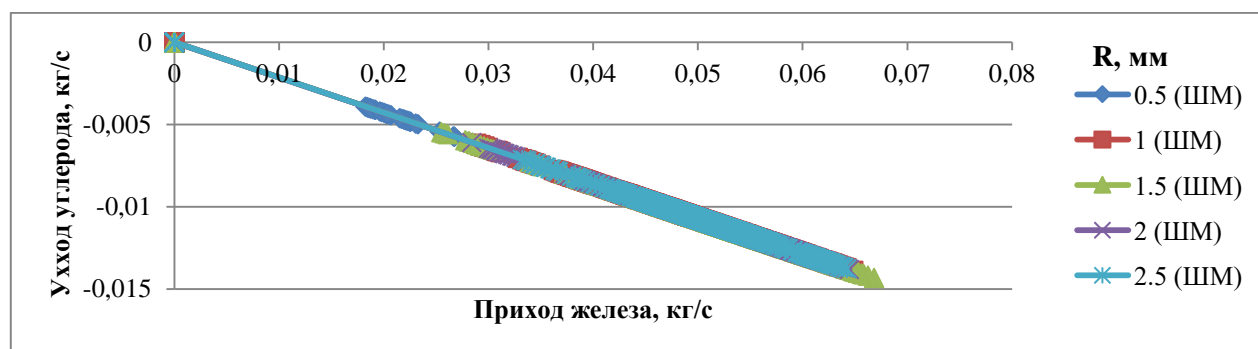


Рис. 5. Фазовый портрет прихода железа и углерода через границу при различной крупности частиц железной руды

Как видно из рисунков 3 и 6, а также на основании обработки данных получен вывод о том, что первый механизм – попадание частиц в копильник играет большую роль, чем второй – диффузия через границу «шлак-металл».

На основании рисунков 1, 2 и 6 можно сделать вывод о том, что наименьшее содержание углерода получается при подаче железной руды крупностью 0,5 мм. Это объясняется тем, что при попадании в плотный слой шлака частицы руды меньшей крупности осаждаются в копильник дольше, а следовательно, в них успевает выгореть больше углерода.

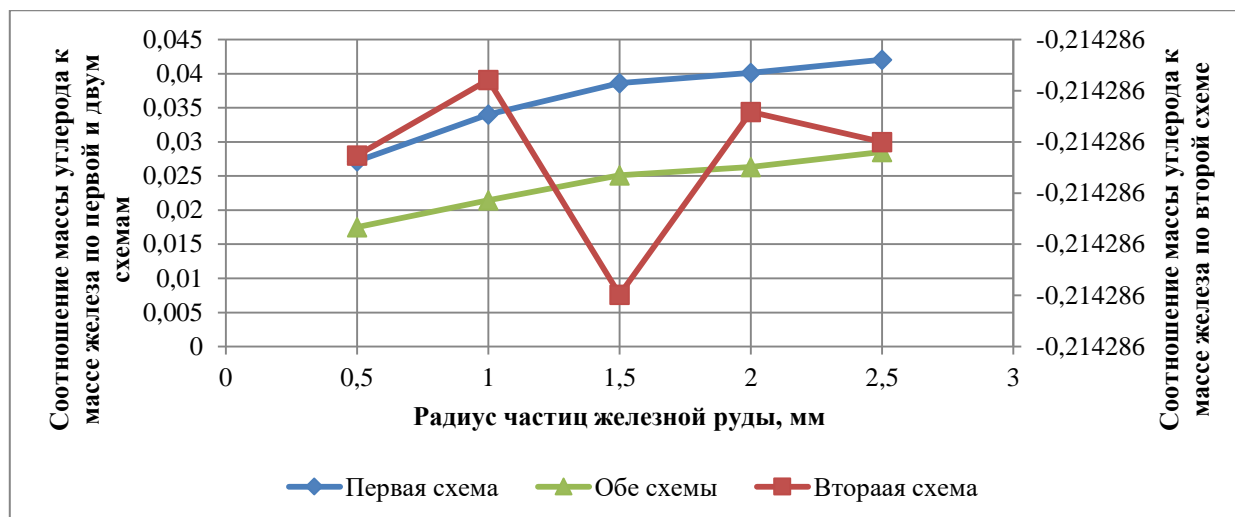


Рис. 6. Графики зависимостей соотношений массы углерода к массе железа по двум механизмам в зависимости от радиуса частиц железной руды

Список использованных источников

1. Цымбал В.П. Процесс СЭР – металлургический струйно-эмульсионный реактор / В.П. Цымбал, С.П. Мочалов, И.А. Рыбенко и [др.]. – М: «Металлургиздат», 2014. – 488 с.
2. Сеченов, П.А. Моделирование сложных металлургических систем с использованием диссипативных структур и системной динамики / П.А. Сеченов, В.П. Цымбал // В сборнике: Металлургия: технологии, инновации, качество. – Новокузнецк, 2017. – С. 85-90.
3. Kroese D.P., Taimre T., Botev Z.I. Handbook of Monte Carlo Methods. Wiley, 2011. – 743 p.
4. Kroese, D.P.; Brereton T.; Taimre T.; Botev Z. I. Why the Monte Carlo method is so important today. WIREs Comput Stat 6, 2014. – 386 – 392 pp.
5. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.

УДК 669.16.228.001.57

Е. Д. Солнцева, Н. Б. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА ГОРЕЛКИ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ДЛИНОЙ ФАКЕЛА ДЛЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Аннотация

При обжиге материалов во вращающихся печах важную роль играют процессы горения топлива. В данной работе представлена краткая информация о конструкции и принципе работы горелки с комбинированной системой сжигания топлива, которая была разработана